

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-223745

(43)Date of publication of application : 17.08.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/293

(21)Application number : 10-285015

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 07.10.1998

(72)Inventor : SHIRASAKI MASATAKA

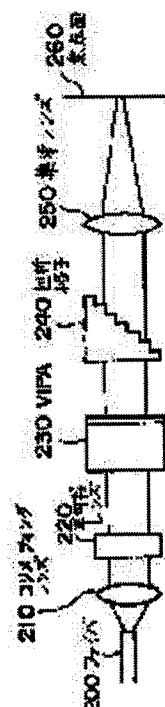
(30)Priority

Priority number : 97 948945 Priority date : 10.10.1997 Priority country : US

(54) DEVICE EQUIPPED WITH VIRTUAL IMAGE PHASE ARRAY COMBINED WITH WAVELENGTH DEMULTIPLEXER FOR DEMULTIPLEXING WAVELENGTH MULTIPLEXED LIGHT

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a wavelength demultiplexer having a wide band and high resolution.  
**SOLUTION:** Generally, a virtual image phase array(VIPA) 230 receives an input light having each wavelength in continuous wavelength areas, generates the multiplex interference of the input light, and generates an output light. The output light can be spatially discriminated from an output light generated from an input light with the other wavelength in the continuous wavelength areas. In this device, the VIPA 230 is combined with a demultiplexer. The VIPA 230 receives the input light, and generates a corresponding output light to be propagated from the VIPA 230. The output light includes plural wavelength components. A demultiplexer 240 demultiplexes the output light into plural separated lights corresponding to the different wavelength components in the output light. The demultiplexer 240 substantially has a distributing direction vertical to that of the VIPA 230. Thus, the light separated by the demultiplexer 240 can be detected by a fiber 200 arranged in a grating pattern.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

20.11.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-223745

(43)公開日 平成11年(1999) 8月17日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/293

識別記号

F I

G 0 2 B 6/28

B

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願平10-285015

(22)出願日 平成10年(1998)10月7日

(31)優先権主張番号 0 8 / 9 4 8 9 4 5

(32)優先日 1997年10月10日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 000003223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72)発明者 白▲崎▼ 正孝

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 大菅 義之 (外1名)

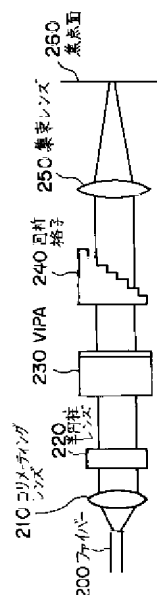
(54)【発明の名称】 波長多重 (WDM) 光を分波するための波長分波器と組み合わせたパーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ (V I P A) を備える装置

(57)【要約】

【課題】 広帯域、高分解能をもつ波長分波器を提供する。

【解決手段】 一般に、V I P Aは、連続する波長領域内の各波長を持つ入力光を受光し、上記入力光の多重干渉を生じさせ、それにより出力光を生成する装置である。上記出力光は、上記連続する波長領域内の他の波長を持つ上記入力光について形成された出力光と、空間的に判別可能である。装置は、上記V I P Aと回折格子のような分波器を組み合わせる。より詳しくは、上記V I P Aは、入力光を受光し、上記V I P Aから伝播する対応する出力光を生成する。上記出力光は、複数の異なる波長成分を含む。上記分波器は、上記出力光を、各々、上記出力光内の異なる波長成分に対応する複数の分離された光に分波する。上記分波器は、実質的に上記V I P Aの分散方向と垂直な分散方向を持つ。このように、分波器から分離された光は、格子パターンに配置されたファイバーによって検出可能である。

本発明の一実施例に係わる、回折格子の  
ような分波器とVIPAを組み合わせた装置の平面図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力光を受光して、バーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ（VIPA）から伝播する、対応する複数の異なる波長成分を含んだ、出力光を生成する前記VIPAと、

前記出力光を各々、前記出力光中の複数の異なる波長成分に対応する、複数の分離された光に分波する分波器とを備えることを特徴とする装置。

【請求項2】 前記VIPAは、実質的に直線状の分散方向に前記出力光を分散させ、

前記分波器は、実質的に直線状の分散方向に、前記分離された光を分散させ、

前記VIPAの前記分散方向は、前記分波器の前記分散方向と平行でないことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】 前記VIPAの前記分散方向は、前記分波器の前記分散方向に対して垂直であることを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項4】 前記入力光は、前記VIPAの自由スペクトラル領域によって決定される、複数の波長帯域に分離された波長領域内であり、

各々の波長帯域において、前記VIPAは、前記分波器よりも高い分解能を有することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項5】 前記入力光は連続する波長領域内の波長を持ち、

前記入力光の前記波長が前記連続する波長領域内で変化するにつれ、

前記VIPAは、前記出力光を実質的に直線状の分散方向に、各々の波長によって異なる出力角度で分散させ、

前記分波器は、前記複数の分離された光を実質的に直線状の分散方向に、各々の分離された光によって異なる出力角度で分散させ、

前記VIPAの前記分散方向は、前記分波器の前記分散方向に対して平行でないことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項6】 前記VIPAの前記分散方向は、前記分波器の前記分散方向と実質的に垂直であることを特徴とする請求項5に記載の装置。

【請求項7】 前記VIPAは、自由スペクトラル領域を持ち、

前記入力光の前記波長は前記VIPAの前記自由スペクトラル領域によって決定される、複数の波長帯域に分離された波長領域内であり、

各々の波長帯域について、前記入力光の前記波長が、前記波長帯域内で変化するにつれ、

前記VIPAは、実質的に直線状の分散方向に、各々の波長によって異なる出力角度で前記出力光を分散させ、

前記分波器は、実質的に直線状の分散方向に、各々の分離された光によって異なる出力角度で前記複数の分離さ

れた光を分散させ、

前記VIPAの前記分散方向は、前記分波器の前記分散方向に対して平行でないことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項8】 前記分波器は、回折格子であることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項9】 前記分波器は、回折格子であることを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項10】 前記VIPAは、前記VIPA内に光を受光し、前記VIPAから光を出力する為の通過領域を持つ、角分散コンポーネントであり、

前記VIPAは、前記通過領域を介して、連続する波長領域内の各波長を持つ入力光を受光し、

前記連続する波長領域内の他の波長を持つ入力光に対して形成された出力光と空間的に判別可能な、前記VIPAから伝播する前記出力された光を形成する自己干渉が、前記入力光の多重反射によって生じることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項11】 前記複数の分離された光を焦点面に集束させるレンズをさらに備え、各々の分離された光は、前記焦点面上で他の分離された光とは異なる点に集束されることを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項12】 前記入力光は、各々異なる波長の2以上の光からなり、

前記VIPAは、各々の前記入力光について各々出力光を形成し、

前記各々の出力光は、他の出力光と空間的に判別可能であり、かつ複数の異なる波長成分を持ち、

前記分波器は、各々、前記出力光中の前記複数の異なる波長成分に対応する、複数の分離された光に各々の出力光を分波することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項13】 焦点面上に、前記分波器から前記分離された光を集束するレンズをさらに備え、前記焦点面上に格子パターンを形成するように、各々の分離された光は、前記焦点面上で他の分離された光と異なる点に集束されることを特徴とする請求項12に記載の装置。

【請求項14】 連続する波長領域内の波長を持つ入力光を受光し、バーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ（VIPA）から伝播する対応する出力光を生成する前記VIPAと、

前記出力光中の複数の異なる各波長成分に対応する、複数の分離された光に前記出力光を分波する分波器を備え、

前記出力光は、前記VIPAから実質的に直線状の分散方向に、各々の波長によって異なる出力角度で分散され、前記分散された出力光は複数の異なる波長成分を含み、

前記複数の分離された光は、実質的に直線状の分散方向に、各々の分離された光について異なる分散角度で、分波器によって分散され、前記VIPAの前記分散方向

は、前記分波器の前記分散方向に対して平行でないことを特徴とする装置。

【請求項15】 前記複数の分離された光を焦点面に集束し、各々の分離された光は、前記焦点面上で他の分離された光と異なる点に集束させる、レンズをさらに備えることを特徴とする請求項14に記載の装置。

【請求項16】 前記入力光は、各々異なる波長の2以上の光からなり、前記VIPAは、各々の入力光について各出力光を形成し、各々の出力光は他の出力光と空間的に判別可能であり、各々の出力光は複数の異なる波長成分を含み、

前記分波器は、前記出力光中の複数の異なる波長成分に各々対応する複数の分離された光に、各々の出力光を分波することを特徴とする請求項14に記載の装置。

【請求項17】 前記分離された光を前記分波器から焦点面上に集束するレンズをさらに備え、  
各々の分離された光は、前記焦点面上で格子パターンを形成するように、他の分離された光と前記焦点面上で異なる点に集束することを特徴とする請求項16に記載の装置。

【請求項18】 前記VIPAは、前記VIPAに光を受光し、前記VIPAから光を出力するための通過領域を持つ、角分散コンポーネントであり、

前記VIPAは、前記通過領域を介して、連続する波長領域内で各々の波長を持つ前記入力光を受光し、前記連続する波長領域内の他の波長を持つ入力光について、形成された出力光と空間的に判別可能な、前記VIPAから伝播する出力光を形成する自己干渉が、入力光の多重反射によって生じることを特徴とする請求項14に記載の装置。

【請求項19】 光を受光し、光を出力するための通過領域を持つ角分散コンポーネントと、

各々、前記出力光内の複数の異なる波長成分に対応する、複数の分離された光に前記出力光を分波する分波器と、

前記複数の分離された光を焦点面に集束し、各々の分離された光と、他の分離された光と異なる点に集束するレンズを備え、

前記角分散コンポーネントは、前記通過領域を介して、連続する波長領域内で各々波長を持つ前記入力光を受光し、前記連続する波長領域内の他の波長を持つ入力光について形成された出力光と空間的に判別可能な、前記角分散コンポーネントから伝播する前記出力光を形成する自己干渉を、前記入力光の多重反射により生じさせ、  
前記出力光は、前記角分散コンポーネントから実質的に直線状の分散方向に、各々の波長について異なる出力角度で分散され、

前記分離された出力光は、複数の異なる波長成分を含み、

前記複数の分離された光は、前記分波器によって、実質

的に直線状の分散方向に、各々の分離された光について異なる出力角度で分散され、

前記角分散コンポーネントの前記分散方向は、前記分波器の前記分散方向に平行でないことを特徴とする装置。

【請求項20】 前記分波器は回折格子であることを特徴とする請求項19に記載の装置。

【請求項21】 前記入力光は、各々異なる波長の2以上の光からなり、前記角分散コンポーネントは、各々の入力光について各々出力光を形成し、各々の出力光は、他の出力光と空間的に判別可能であり、各々の出力光は複数の異なる波長成分を含み、

前記分波器は、前記出力光内の前記複数の異なる波長成分に各々対応する、複数の分離された光に各々の出力光を分波し、

前記レンズは、前記焦点面上に格子パターンを形成するように、各々の分離された光を、他の分離された光と前記焦点面上の異なる点に集束することを特徴とする請求項19に記載の装置。

【請求項22】 各々異なる波長の複数の光を含む入力光を分波するための装置であって、

前記入力光内の複数の光に各々対応する複数の出力光に前記入力光を分波し、実質的に直線状の分散方向に、各々の出力光について異なる出力角度で、複数の波長成分を含む前記複数の出力光を分散させる第一の分波器と、  
前記出力光内の複数の波長成分に各々対応する複数の分離された光に各々の出力光を分波し、実質的に直線状の分散方向に、各々の分離された光について異なる出力角度で、前記第一の分波器の前記分散方向に平行でない前記分散方向に、前記複数の分離された光を分散する第二の分波器とを備えることを特徴とする装置。

【請求項23】 前記第二の分波器の前記分散方向は、前記第一の分波器の前記分散方向に対して垂直であることを特徴とする請求項22に記載の装置。

【請求項24】 前記第一の分波器は、バーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ(VIPA)であることを特徴とする請求項22に記載の装置。

【請求項25】 前記第二の分波器は、回折格子であることを特徴とする請求項22に記載の装置。

【請求項26】 前記第二の分波器は、回折格子であることを特徴とする請求項24に記載の装置。

【請求項27】 前記第一の分波器は、対応する自由スペクトラル領域を持ち、

前記入力光は、前記第一の分波器の前記自由スペクトラル領域によって決定された、複数の波長帯域に分離された波長領域内であり、

各々の波長帯域において、前記第一の分波器は、前記第二の分波器より高い分解能を持つことを特徴とする請求項22に記載の装置。

【請求項28】 前記第二の分波器から焦点面上に、前記分離された光を集束し、各々の分離された光は、前記

焦点面上に格子パターンを形成するように、他の分離された光と前記焦点面上の異なる点に集束するレンズを、さらに備えることを特徴とする請求項22に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長分割多重(WDM)光を分波するためのバーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ(VIPA)を含む装置に関する。より詳しくは、本発明は、比較的多数の近接して分かれた波長成分を持つ波長分割多重光が、正確に分波されることを可能にする、回折格子のような波長分波器と組み合わされたVIPAを含む装置に関する。

【0002】

【従来の技術】波長分割多重は、比較的大量のデータを高速で転送する光ファイバー通信システムにおいて用いられる。より詳しくは、おのおのの情報により変調された複数のキャリアが、波長分割多重光に合波される。波長分割多重光は、1つの光ファイバーを介して受光器に送出される。受光器は、波長分割多重光を個々のキャリアに分け、個々のキャリアを検出する。このように、通信システムは比較的大量のデータを光ファイバーで転送することができる。

【0003】従って、受光器が正確に波長分割多重光を分波する能力は、通信システムのパフォーマンスに大きく影響する。例えば、多数のキャリアが波長分割多重光に結合されることができても、そのような波長分割多重光は、受光器が正確に波長分割多重光を分波することができなければ、送出できない。ゆえに、受光器に高精度波長分波器を含ませることが望まれている。

【0004】図19は、波長分波器として用いられる多層干渉フィルムを用いた従来のフィルターを示す図である。図19によると、多層干渉フィルム20は、透過性の基盤22の上に形成されている。光24は、平行光であるが、フィルム20に入射し、続いて繰り返しフィルム20内で反射する。フィルム20の特徴により決定される光学的条件から、波長 $\lambda_2$ を持つ光26のみが透過する。光学的条件に合わない全ての光を含む光28は、フィルム20を透過できず、反射される。このように、図19に示されるフィルタは、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の異なる波長の2つのキャリアのみを含む波長分割多重光を分波するために有用である。しかしながら、そのようなフィルタは、それ自体で、2以上のキャリアを持つ波長分割多重光を分離することができないという問題があった。

【0005】図20は、波長分波器として用いられる従来のファブリー・ペロー干渉計を示す図である。図20に示すように、高反射率反射フィルム32は、互いに平行である。光34は、平行光であり、反射フィルム30上に入射し、多数回反射フィルム30と32の間で反射される。ファブリー・ペロー干渉計の特徴により決定さ

れる通過条件を満足する波長 $\lambda_2$ の光36は、反射フィルム32を通過する。波長 $\lambda_1$ の光38は、通過条件を満足しないので、反射される。このように、2つの異なる波長を持つ光は、各々、2つの異なる波長に対応する2つの異なる光に分けられる。従って、図19に示されるフィルタのように、従来のファブリー・ペロー干渉計は、異なる波長 $\lambda_1$ 及び $\lambda_2$ の2つのキャリアだけを含む波長分割多重光を分けるのに有用である。しかしながら、そのようなファブリー・ペロー干渉計は、3つ以上のキャリアを持つ波長分割多重光を分けることができないという問題があった。

【0006】図21は、波長分波器として使用する従来のマイケルソン干渉計の構成を示す図である。図21に示すように、平行光40は、ハーフミラー42に入射し、互いに垂直な第一の光44と第二の光46に分けられる。反射ミラー48は、第一の光44を反射し、反射ミラー50は、第二の光46を反射する。ハーフミラー42と反射ミラー48の間の距離及びハーフミラー42と反射ミラー50の間の距離は、光路差を示す。反射ミラー48によって反射された光は、ハーフミラー42に戻り、反射ミラー50によって反射されてハーフミラー42に戻った光と、干渉する。この結果、各々、波長 $\lambda_1$ 及び $\lambda_2$ を持つ光52及び光54は、互いに分離される。図19に示すフィルタ及び図20に示すファブリー・ペロー干渉計のように、図21に示すマイケルソン干渉計は、異なる波長 $\lambda_1$ 及び $\lambda_2$ の2つのキャリアのみを含む波長分割多重光を分けるのに有用である。従って、このようなマイケルソン干渉計は、3つ以上のキャリアを持つ波長分割多重光を分けることができないという問題があった。

【0007】他の波長キャリアを1つの波長分割多重光から分けることができるように、複数のフィルタ、つまりファブリー・ペロー干渉計もしくはマイケルソン干渉計を、巨大な配列に組み合わせることは可能である。しかし、そのような配列は、高価で、効率が悪く、受光器が望ましくないほど大きくなってしまいう問題があった。

【0008】回折格子もしくはアレイ導波路格子は、しばしば、2以上の異なる波長キャリアからなる波長分割多重光を分ける為に用いられる。図22は、波長分割多重光を分ける為の従来の回折格子の構成図である。図22に示すように、回折格子56は、格子面58を持つ。複数の異なる波長キャリアを持つ平行光60は、格子面58に入射する。異なる波長キャリアは、格子面58の各々のステップで反射され、互いに干渉する。この結果、異なる波長を持つキャリア62、64及び66は、異なる角度で回折格子56から出力され、従って、互いに分離される。

【0009】しかし、回折格子は、異なる波長キャリアを比較的小きな分散角度で出力する。その結果、受光器

が、回折格子によって分けられたさまざまなキャリア信号を、正確に受光することが困難であるという問題があった。この問題は、特に、比較的近接した波長のキャリアを多数持つ波長分割多重光を分波する回折格子において、厳しい問題であった。この場合、回折格子によって得られた角分散は、極端に小さく、典型的には約0.05度/nmであった。

【0010】さらに、回折格子は、入力光の偏光によって影響される。従って、入力光の偏光は、回折格子の性能に影響を与えるという問題があった。また、回折格子の格子面は、正確な回折格子を生成するために、複雑な製造工程を必要とするという問題があった。

【0011】図23は、波長分割多重光を分波する為の従来のアレイ導波路格子の構成を示す図である。図23に示すように、複数の異なる波長キャリアからなる光は、入口68を介して受光され、多数の導波路70を介して分割される。出力光74が生成されるように、光の出口72は、各々の導波路70の端にある。導波路70は、互いに長さが異なり、そのため、異なる長さの光路を与える。従って、導波路70を通過する光は互いに異なる位相を持ち、それゆえに、出口72を介して出力される際に相互に干渉する。この干渉により、異なる波長を持つ光を異なる方向に出力するようにさせる。

【0012】アレイ導波路格子において、分散角度は、適切に導波路を構成することにより、ある範囲で調節できる。しかしながら、アレイ導波路格子は、温度変化及び他の環境的な要因により影響される。従って、温度変化と環境的な要因は、適切に分散角度を調節することを困難にしていたという問題があった。

【0013】従って、本発明の目的は、単純な構成を持ち、波長分割多重光から複数のキャリアを同時に分割することが可能な波長分波器を提供することである。また、本発明のさらなる目的は、比較的多数の近接したキャリアまたは波長成分を持つ、波長分割多重光を正確に分波することが可能な装置を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の一態様において、連続する波長領域内で各々の波長を持つ入力光を受光し、対応する出力光を生成する装置を備える。これにより、上記出力光は、上記連続する波長領域内の他の波長を持つ入力光について形成された出力光と、空間的に判別可能（例えば、出力光は、異なる方向に進む）となる。

【0015】より詳しくは、上記装置は、連続する波長領域内で各々の波長を持つ入力光を受光し、上記装置は、入力光の多重反射により自己干渉を生じさせ、それにより、出力光を形成する。このことより、上記出力光は、上記連続する波長領域内の他の波長を持つ入力光についての出力光と、空間的に判別可能となる。上記装置は、バーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ（VIP

A）と記す。

【0016】さらに、本発明の一態様においては、回折格子のような波長スプリッターまたは「分波器」とVIPAを組み合わせた装置を提供する。より詳しくは、上記VIPAは入力光を受光し、上記VIPAから伝播する、対応する出力光を生成する。上記出力光は、複数の異なるキャリアのような、異なる波長成分を含む。上記分波器は、上記出力光内の複数の異なる波長成分に各々対応する、複数の分離された光に上記出力光を分波する。上記分波器は、上記VIPAの分散方向に対し、実質的に垂直な分散方向を持つことが望ましい。この場合、上記分波器から分離された光は、格子パターンに配列されたファイバーによって検出される。これにより、比較的多数の近接したキャリアまたは波長成分を持つ、波長分割多重光を正確に分波することが可能になる。

【0017】さらに、本発明の一態様においては、複数の光を含む入力光を分波する装置を提供する。上記複数の光は、各々異なる波長をもつ。上記装置は、第一の分波器と第二の分波器を備える。上記第一の分波器は、上記入力光を上記入力光内の上記複数の光に各々対応する複数の出力光に分波する。上記第一の分波器は、上記複数の出力光を、各々の出力光について、実質的に直線状の分散方向に異なる出力角度で分散する。さらに、各々の出力光は、複数の波長成分を含む。上記第二の分波器は、各々の出力光を、各々、上記出力光内の複数の波長成分に対応する複数の分離された光に分波する。上記第二の分波器は、上記複数の分離された光を実質的に直線状の分散方向に、各々の分離された光について異なる出力角度で分波する。上記第二の分波器の分散方向は、上記第一の分波器の分散方向に対して平行でなく、好ましくは垂直である。このことにより、比較的多数の近接したキャリアまたは波長成分を持つ、波長分割多重光を正確に分波することが可能となる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら、本発明の実施の形態について詳細に説明する。図面において、同じ要素は、同じ参照番号で示されている。

【0019】図1は、本発明の一実施例に係わるバーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ（VIPA）の構成図である。以下、「波長スプリッター」、「バーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ」もしくは「VIPA」という用語は、互いに置き換えて使用する。

【0020】図1に示すように、VIPA76は、ガラスの薄い板でできていることが望ましい。入力光77がVIPA76中を進むように、入力光77は、半円柱レンズのようなレンズ80によってライン78上に集束される。以下、ライン78は、「焦点線78」と示す。入力光77は、焦点線78から放射状に伝播して、VIPA76内部に受光される。その後、VIPA76は、コリメートされた光の光束82を出力する。ここで、光束

78の出力角度は、入力光77の波長が変化するにつれ、変化する。例えば、入力光77が波長 $\lambda_1$ である場合、VIPA76は、特定の方向に波長 $\lambda_1$ で光束82aを出力する。入力光77が波長 $\lambda_2$ である場合、VIPA76は、異なった方向に波長 $\lambda_2$ で光束82bを出力する。もし、入力光77が、波長 $\lambda_1$ の光と波長 $\lambda_2$ の光を組み合わせた波長分割多重光である場合、VIPA76は、2つの分離された光束82a及び82bを異なる方向に同時に出力する。従って、VIPA76は、互いに空間的に判別可能な光束82a及び82bを生成する。同様に、VIPA76は、波長分割多重光からの2以上の異なるキャリア光を同時に分離可能である。

【0021】図2は、本発明の実施例に係わる図1で示すVIPA76のVII-VII線にそった横断面図である。図2に示すように、VIPA76は、反射面86及び88を表面上にもつガラスのような部材84を備える。反射面86及び88は、互いに平行であり、間隔 $t$ で隔てられている。反射面86及び88は、一般的に部材84上に付着している反射フィルムである。反射面88は、以下により詳しく述べるが、照射窓90以外において、約100%の反射率を持つ。反射面86は、約95%の反射率を持つ。従って、反射面86上に入射した光の約5%は透過され、光の約95%は反射されるように、反射面86は約5%の透過率を持つ。

【0022】反射率は、VIPAを特殊に応用することによって容易に変えることができる。しかし、一般に反射面86は、入射光の一部が透過できるように100%より小さい値の反射率を持つ必要がある。

【0023】反射面88は照射窓90を持つ。照射窓90は光を透過させ、なるべく反射がない、もしくは、大変低い反射率を持つ。入力光92が反射面86及び88の間で受光され、反射されるように、照射窓90は入力光92を受光する。

【0024】図2は、図1のVII-VII線にそった横断面を示す為、図1の焦点線78は図2において「点」として見える。入力光92はその後放射状に焦点線78から伝播する。さらに、図2に示すように、焦点線78は反射面86上に位置する。焦点線78が反射面86上にあることは必要ではないが、焦点線78の配置の変化は、VIPA76の特性に小さな変化しか起こさない。

【0025】図2に示すように、入力光92は照射窓90の領域A0を介して、部材84に入る。ここで、点P0は領域A0の周辺の点を示す。反射面86の反射能のため、入力光92の約5%もしくはそれ以下は、光線R0によって定義される透過光Out0として反射面86を透過し、入力光92の約95%もしくはそれ以上は、反射面86によって反射され、反射面88の領域A1に入射する。点P1は、領域A1の周辺の点を示す。反射面88上の領域A1で反射した後、入力光92は反射面

86へ進み、反射面86を介して、光線R1によって定義される透過光Out1として一部が送出される。こうして、図2に示すように、入力光92は反射面86と88の間で多重反射する。ここで、反射面86の各々の反射は、また、反射面86を透過する各透過光となる。従って、例えば、ちょうど入力光92が反射面88上の領域A2、A3及びA4で反射する毎に、入力光92は、反射面86で反射して、各々透過光Out2、Out3及びOut4を生成する。点P2は領域A2の周辺の点を示し、点P3は、領域A3の周辺の点を示し、点P4は、領域A4の周辺の点を示す。透過光Out2は、光線R2で定義され、透過光Out3は、光線R3で定義され、透過光Out4は、光線R4で定義される。図2において、透過光Out1、Out2、Out3及びOut4しか示されていないが、実際には、入力光92のパワーと反射面86及び88の反射率に依存して、もっと多くの透過光が存在することが可能である。

【0026】以下により詳しく述べるように、光束を出力光として生成する為に、透過光は互いに干渉する。出力光の方向は入力光92の波長に従って変化する。図2は、1波長からなる入力光92の例を示す。しかしながら、もし入力光が複数の波長（各々異なる波長の複数のキャリアからなる波長分割多重光のように）からなる場合も、入力光は同様に反射される。なお、複数の光束は、各々複数のキャリアに対応して形成される。各々の光束は、VIPAから他の光束と異なる角度で出力される。

【0027】図3は、本発明の一実施例に係わるVIPAによって生成される反射光間での干渉を示す図である。図3に示すように、焦点線78から進む光は、反射面88によって反射され、その後反射面86によって反射される。上述のように、反射面88は約100%の反射率を持ち、ゆえに本質的に鏡のように機能する。結果として、透過光Out1は、反射面86と88は存在せず、その代わりに、透過光Out1は焦点線I1から放射されたかのように、光学的に分析することが可能である。同様に、透過光Out2、Out3及びOut4は、各々焦点線I2、I3及びI4から放射されたかのように、光学的に分析することが可能である。焦点線I2、I3及びI4は、焦点線I0の虚像である。

【0028】従って、図3に示すように、焦点線I1は焦点線I0から距離 $2t$ 隔てている。ここで、 $t$ は反射面86と88間の距離に等しい。同様に、各々のその後に続く焦点線は、すぐ前の焦点線から距離 $2t$ 隔てている。このように、焦点線I2は焦点線I1から距離 $2t$ 隔てている。さらに、各々のその後に続く、反射面86と88の間の多重反射は、先の透過光よりも強度が弱い透過光を生成する。従って、透過光Out2は透過光Out1よりも強度が弱い。

【0029】図3に示すように、焦点線からの透過光は



互いに重複し、干渉する。さらに、焦点線 I 1、I 2、I 3 及び I 4 は焦点線 I 0 の虚像であり、従って、透過光 Out 1、Out 2、Out 3 及び Out 4 は、焦点線 I 0、I 1、I 2、I 3 及び I 4 の位置で、同じ光学的位相を持つ。ゆえに、この干渉は入力光 9 2 の波長に依存する特定の方向に進む光束を生成する。

【0030】上述の本発明の実施例に係わる VIPA は、VIPA の設計の特徴である強め合い条件を持つ。強め合い条件は、光束が形成されるように、透過光の干渉を増大する。VIPA の強め合い条件は次の式 (1) で表される。

$$2t \times \cos \theta = m\lambda$$

ここで、 $\theta$  は、反射面 8 6 及び 8 8 に垂直な線から測定した、結果として得られる光束の伝播方向を、 $\lambda$  は入力光の波長を、 $t$  は反射面 8 6 と 8 8 の距離を、 $m$  は整数を示す。

【0032】従って、もし  $t$  が定数で、 $m$  に特定の値が与えられる場合、波長  $\lambda$  を持つ入力光について形成された、光束の伝播方向は決定される。より具体的には、入力光は、特定の角度を介して、放射状に焦点線 7 8 から分散する。従って、同じ波長を持つ入力光は、焦点線 7 8 から多数の異なる方向に進み、反射面 8 6 と 8 8 の間で反射される。VIPA の強め合い条件は、入力光の波長に対応する方向を持つ光束を形成するために、特定の方向に進む光を透過光の干渉を介して増強させる。強め合い条件により必要とされる特定の方向以外の異なる方向に進む光は、透過光の干渉により弱められる。

【0033】さらに、入力光が複数の異なる波長を持つ光を含む場合、強め合い条件は、入力光内の各々の波長について、異なる光束を形成する。各々の光束は異なる波長である。従って、VIPA は波長分割多重光を受光し、異なる方向に進み、波長分割多重光内の様々な波長に対応する複数の光束を生成することができる。

【0034】図 4 は、本発明の一実施例に係わる、VIPA 7 6 による光束の形成を示し、図 1 での線 V I I にそった横断面を表す図である。より具体的には、図 3 は複数の光束を形成することが可能な VIPA 7 6 を示す。ここで、各々の光束は、入力光の波長に依存して異なる伝播方向を持つ。

【0035】図 4 に示すように、入力光が反射面 8 6 と 8 8 の間で反射されるように、複数の波長を持つ入力光は、焦点線 7 8 から放射状に分散される。入力光は 3 つの異なる波長を持つ光を含むと仮定する。ゆえに、各々の波長を持つ光は焦点線 7 8 から多くの異なる方向に分散される。入力光の波長に対応する方向を持つ光束を形成する為に、VIPA の強め合い条件は、同じ波長の特定の方向に進む光を、異なる方向に進む光によって増強させる。従って、例えば、波長  $\lambda_1$  を持ち、焦点線 7 8 から方向  $\theta_1$  に伝播する光は、異なる方向に進む光により増強され、伝播方向  $\theta_1$  を持つ光束 L F 1 を形成す

る。同様に、波長  $\lambda_2$  を持ち、焦点線 7 8 から方向  $\theta_2$  に伝播する光は、異なる方向に進む光により増強され、伝播方向  $\theta_2$  を持つ光束 L F 2 を形成する。また、波長  $\lambda_3$  を持ち、焦点線 7 8 から方向  $\theta_3$  に伝播する光は、異なる方向に進む光により増強され、伝播方向  $\theta_3$  を持つ光束 L F 3 を形成する。

【0036】上述のように、式 (1) は、光束を形成する透過光の間での干渉を増大させる時に、満足されなければならない。さらに、好ましくは、部材 8 4 の厚さ  $t$  は、予め決められている。従って、入力光の入射の角度範囲は、入力光が VIPA 7 6 に、式 (1) を満足する伝播方向  $\theta$  で入るように、設定される必要がある。より具体的には、入力光の伝播方向を固定し、反射面 8 6 と 8 8 の間の距離  $t$  を固定し、入力光の波長を予め決定することが可能である。従って、入力光内の各々の波長について生成される光束の特定の角度を決定することが可能であり、VIPA 7 6 の強め合い条件を満足することが可能である。

【0037】さらに、入力光は焦点線 7 8 から多くの方向に放射するため、入力光は、強め合い条件を満足する角度に、確実に伝播することができる。図 5 は、図 1 で示す VIPA の V I I - V I I 線にそった横断面を示す図であり、本発明の一実施例に係わる入力光の入射の角度もしくは傾斜角度の決定についての VIPA の特徴を示す。

【0038】図 5 に示すように、入力光 9 2 は、円柱レンズ (不図示) により集光され、焦点線 7 8 に集束される。図 1 0 に示すように、入力光 9 2 は、照射窓 9 0 上の「a」に等しい幅を持つ領域をカバーする。入力光 9 2 は反射面 8 6 から一度反射した後、入力光 9 2 は反射面 8 8 上に入射し、反射面 8 8 上の「b」に等しい幅を持つ領域をカバーする。さらに、図 1 0 に示すように、入力光 9 2 は、反射面 8 6 の法線に関して傾斜角度  $\theta_1$  である、光軸 9 4 にそって進む。

【0039】VIPA へ入射する時に、入力光 9 2 が照射窓 9 0 を介して部材 8 4 から漏れ出ないように、そして、反射面 8 6 により一度反射された後に、入力光 9 2 が反射面 8 8 から漏れ出ないように、傾斜角度  $\theta_1$  は設定されるべきである。つまり、傾斜角度  $\theta_1$  は、入力光 9 2 が反射面 8 6 と 8 8 の間に「トラップ」されたままで、照射窓 9 0 を通って逃れることができないように、設定されるべきである。従って、入力光 9 0 が、照射窓 9 0 を介して部材 8 4 から漏れ出ることのないように、傾斜角度  $\theta_1$  は、次の式 (2) に従って決定されるべきである。

【0040】光軸  $\theta_1$  の傾斜  $\geq (a+b)/4t$   
従って、図 1 から図 5 に示すように、本発明の実施例は、連続する波長領域内の各々の波長を持つ入力光を受光する、VIPA を備える。VIPA は、入力光の多重反射によって自己干渉を生じさせ、それにより出力光を

形成させる。出力光は、連続する波長領域内の他の波長を持つ入力光について形成された出力光と、空間的に判別可能である。例えば、図2は、反射面86と88の間で多重反射される入力光92を示す。この多重反射は、(図9に示す光束LF1、LF2またはLF3のような) 光束を生成するように、互いに干渉する複数の透過光Out0、Out1、Out2、Out3及びOut4を生成する。

【0041】「自己干渉」は、同じ源から生ずる複数の光またはビームの間で起こる干渉を示す用語である。従って、透過光Out0、Out1、Out2、Out3及びOut4は、全て同じ源(つまり、入力光92)から生じている為、透過光Out0、Out1、Out2、Out3及びOut4の干渉は、入力光92の自己干渉という。

【0042】上述の本発明の実施例によると、入力光は、連続する波長領域内のどの波長であってもよい。このように、入力光は、離散した値の範囲から選ばれた値の波長に限定されない。

【0043】さらに、上述の本発明の実施例によると、連続する波長範囲内の異なる波長の入力光である場合に生成される出力光と、連続する波長領域内の特定の波長の入力光について生成された出力光は、空間的に判別可能である。従って、例えば、図1に示すように、入力光77が連続する波長領域内で異なる波長の場合、光束82の進行方向(つまり、「空間的特性」)は異なる。出力光は入力光の2つの異なる波長について空間的に判別可能であるが、入力光の連続する波長領域内の各々の波長について、空間的に判別可能な出力光を生成することはできない、図19から図21に示す従来の波長分波装置と、この動作は比較することができる。例えば、図19のフィルターにおいて、波長分割多重光内の波長 $\lambda_2$ を持たない全てのキャリアは、光28として出力される。

【0044】図6は、本発明の一実施例に関わる、受光器とともに用いられるVIPAを示す構成図である。図に示すように、多層膜反射フィルム96及び98は、厚さ $t$ 、例えば $100\mu\text{m}$ 、を持つガラス製の平行平板100の両端に設けられている。平行平板100は、20から $2000\mu\text{m}$ の範囲の厚みを持つことが望ましい。反射フィルム96及び98は、多層高反射率干渉フィルムであることが望ましい。

【0045】反射フィルム98の反射率は、約100%であり、反射フィルム96の反射率は、約95%である。しかし、反射フィルム96の反射率は、95%に限定されず、反射フィルム96と98の間で多重反射するのに、十分な光が反射フィルム96から反射される限り、異なる値であってもよい。望ましくは、反射フィルム96の反射率は、80%から100%より数パーセント少ない範囲内であるとよい。さらに、反射フィルム9

8の反射率は100%に限定されないが、反射フィルム96と98の間で多重反射するために、十分高い必要がある。

【0046】照射窓102は入力光を受光し、平行平板100上、反射フィルム96と同じ表面上に位置する。照射窓102は、平行平板100の表面上、反射率約0%を持つフィルムによって形成できる。図6に示すように、照射窓102と反射フィルム96の間の境界は、直線状であることが望ましい。

【0047】入力光は、例えば、光ファイバー(不図示)から出力され、コリメーティング・レンズ106により受光される。コリメーティング・レンズ106は、入力光をを平行ビーム104に変換し、変換された光は円柱レンズ108により受光される。円柱レンズ108は、平行ビーム104を反射フィルム98上の焦点線110に、もしくは平行平板100内のある点に集束する。このように、入力光は照射窓102を介して平行平板100に入る。

【0048】入力光が平行平板100に入った後、放射窓102を介して逃れないように、入力光の光軸は、反射フィルム96の法線に関して傾斜角度を持つ。このために、上述の式(2)に従って傾斜角度は設定される。

【0049】いったん、平行平板100内で、入力光は(図2に示すように)反射フィルム96と98の間で多重反射する。入力光が反射フィルム96に入射する毎に、入力光の約95%は、反射フィルム98に向かって反射し、入力光の約5%は反射フィルム96を透過し、透過光を形成する(例えば、図2に示す透過光Out1のように)。反射フィルム96と98間の多重反射は、複数の透過光を形成する。複数の透過光は互いに干渉して、入力光の波長に依存する伝播方向を持つ光束112を形成する。

【0050】光束112は、その後レンズ114により集光され、レンズ114は、集光点に光束112を集束する。集光点は、入力光の異なる波長について、直線状ラインパス116にそって移動する。例えば、入力光の波長が増加するにつれ、集光点はさらに直線状ラインパス116にそって移動する。複数の受光器118は、集束された光束112を受光する為に、直線状ラインパス116上に配置される。従って、各々の受光器118を、特定の波長に対応する光束を受光するように配置することが可能である。

【0051】VIPAの反射フィルムの間または反射面の間の距離 $t$ をコントロールすることにより、反射フィルムまたは反射面の間で反射された光の位相差は、所定の量だけシフトすることが可能である。それにより、すばらしい耐環境性を実現する。さらに、上述の本発明の実施例において、偏光に依存する光学的特性の変化は小さい。

【0052】図7は本発明のさらなる実施例に係わる、

受光器と共に持ちいられるVIPAの構成を示す図である。図7に示すVIPAは、反射フィルム96および98の反射率が逆であることを除くと、図6に示すVIPAに似ている。より具体的には、図7に示すVIPAにおいて、反射フィルム98は約95%の反射率を持ち、反射フィルム96は約100%の反射率を持つ。図7に示すように、光束112は、反射フィルム98を通して進む透過光の干渉を介して形成される。このように、入力光は平行平板100の一方の側に入り、光束112は平行平板100の反対側に形成される。その他の点で、図7に示すVIPAは図6に示すVIPAと同様に動作する。

【0053】図8は、本発明のさらに別の実施例に係わるVIPAの構成を示す図である。図8に示すように、プレート120は、例えば、ガラス製であり、その上に反射フィルムを備える。反射フィルム122は約95%またはそれ以上だが、100%よりも小さい反射率を持つ。反射フィルム124は約100%の反射率を持つ。照射窓126は約0%の反射率を持つ。

【0054】入力光128は、照射窓126を介して、円柱レンズ130により焦点線129に集束される。焦点線129は、プレート120の反射フィルム122が設けられた表面上にある。このように、焦点線129は、本質的に照射窓126を介して反射フィルム122上に集束された線である。

【0055】円柱レンズ130により集束された時、焦点線129の幅は、入力光128の「ビームウェスト」という。このように、図8に示される本発明の実施例は、入力光128のビームウェストをプレート120の遠い方の表面（つまり、その上に反射フィルム122を持つ表面）上に集束させる。ビームウェストをプレート120の遠い方の表面上に集束することにより、本発明の本実施例は、(i) 入力光128が照射窓126を通過する際に、入力光128によりカバーされた、プレート120の表面上の照射窓126の領域（例えば、図5に示す領域「a」）と、(ii) 入力光128が最初に反射フィルム124により反射された時、入力光128によりカバーされた反射フィルム124上の領域（例えば、図5に示す領域「b」）との間の重複の可能性を減少することができる。VIPAの適当な動作を確実にする為に、そのような重複は減少させることが望ましい。

【0056】図8において、入力光128の光軸132は、小さな傾斜角度 $\theta$ を持つ。反射フィルム122の最初の反射の後、光の5%は反射フィルム122を通過して、ビームウェストの後には広がり、光の95%は、反射フィルム124に向かって反射される。最初に反射フィルム124によって反射された後、光は再び反射フィルム122にぶつかるが、 $d$ だけずれる。その後、光の5%は反射フィルム122を通過する。同様に、図8に示すように、一定の間隔 $d$ で、光は多くのパスに分か

れる。各々のパスのビーム形は、ビームウェスト129の虚像134から光が広がるようになる。虚像134は、プレート120に対して法線である直線状にそって、一定の間隔 $2t$ で配置される。ここで、 $t$ はプレート120の厚さである。虚像134でビームウェストの位置は、自己整列し、位置を調節する必要はない。その後、虚像134から広がる光は、互いに干渉し、入力光128の波長に従って変化する方向に伝播する、コリメートされた光136を形成する。

【0057】光のパスの間隔は $d = 2t \sin \theta$ であり、隣接したビームとの間のパスの長の差は、 $2t \cos \theta$ である。角分散はこれら2つの数字の比に比例し、 $\cot \theta$ である。この結果、本発明の実施例は、従来の波長分波器と比較して、異なるキャリアについての光束の間で、大変大きな角分散を生成する。

【0058】上述のように、本発明の実施例は、「バーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ」という。先に図8で示すように、「バーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ」という語は、虚像（バーチャル・イメージ）134の配列（アレイ）の形成を起源とする。図9は、本発明の一実施例に関わる、導波路型VIPAの構成を示す図である。

【0059】図9に示すように、光138は、光ファイバー（不図示）から出力され、基板142上に設けられた導波路140により受光される。導波路140、例えばニオブ酸リチウムである。光138は、異なる波長を持つ複数のキャリアに変調が施された光信号を含む。

【0060】光138は、一般的に、光ファイバーから出力される際に、ある分散幅を持つ。従って、コリメーティング・レンズ142は、光138を平行光に変換する。平行光は、その後円柱レンズ144により集光され、焦点線146に集束される。光は、その後、焦点線146から照射窓150を介して、VIPA148に放射する。

【0061】VIPA148は、平行平板156上に反射フィルム152及び154を備える。反射フィルム154は平行平板156の一方の側にあり、反射フィルム152及び照射窓150は、平行平板156の他方の側にある。反射フィルム152は、約100%の反射率を持ち、反射フィルム154は、100%より低い反射率を持つ。平行平板156により反射された光の光束158は、照射窓150と反対の平行平板156の側へ出力される。

【0062】光138が複数の波長を含む場合、入力光138の波長に依存して異なる方向に進む複数の光束158が形成される。VIPA148によって形成された光束158は、光束158の伝播方向に依存して、レンズ160により異なる点に集束される。従って、図9に示すように、各々波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 及び $\lambda_3$ を持つ光束158a、158b及び158cは、異なる集光点に形成

される。

【0063】複数の受光導波路162は、集光点に設けられている。各々の受光導波路162は、光信号及び、1つの波長を持つ対応するキャリアを導波する。従って、複数の光束は、様々なチャネルを介して同時に受光され、伝送されることが可能である。各々の受光導波路162は、後段に設けられた、対応する受光器（不図示）を持つ。受光器は、一般的にフォトダイオードである。従って、各々の受光導波路162によって導波された光は、対応する受光器によって検出された後に処理される。

【0064】図10、図11、図12及び図13は、本発明の一実施例に係わるVIPAを製造するための方法を示す。図10に示すように、平行平板164は、望ましくはガラス製で、良い平行性を持つ。反射フィルム166及び168は、真空蒸着、イオンスパッタリングまたは他の同様な方法により平行平板164の両側に形成される。反射フィルム166及び168の一方は、ほぼ100%の反射率を持ち、他方は望ましくは80%以上で、100%より低い反射率を持つ。

【0065】図11に示すように、反射フィルム166及び168の一方は、照射窓170を形成するために部分的に削られている。図11において、反射フィルム166は、反射フィルム166と平行平板164の同じ表面上に、照射窓170を形成する為に削られている。しかし、代わりに、反射フィルム168が、平行平板164の反射フィルム168と同じ表面上に、照射窓170を形成する為に部分的に削られることも可能である。本発明の様々な実施例によって示すように、照射窓は平行平板164のどちらの側にあってもよい。

【0066】反射フィルムを削ることは、エッチング処理によって行うことが可能である。しかし、機械的切削処理もまた使用でき、より安価である。しかし、反射フィルムが機械的に削られる場合、平行平板164への損傷を最低限にするように、平行平板164は注意深く処理されなければならない。例えば、照射窓を形成する平行平板164の一部がひどく損傷した場合、平行平板164は受光した入力光の散乱によって起こされる余分なロスを生成する。

【0067】反射フィルムの最初の形成とその後の切削の代わりに、照射窓は予め、照射窓に対応する平行平板164の一部をマスキングすることにより、この部分が反射フィルムで覆われないように防止して、生成することが可能である。

【0068】図12に示すように、透明接着剤172が反射フィルム166上及び、反射フィルム166が除かれるべき平行平板164の一部に用いられている。照射窓を形成する平行平板164の一部に透明接着剤172は用いられることになる為、透明接着剤172は、できる限り光学的欠損をおこさないようにすべきである。

【0069】図13に示すように、透明防護板174は、反射フィルム166と平行平板164を防護するために、透明接着剤172上に用いられている。透明接着剤172は、反射フィルム166を除くことにより得られた窪んだ部分を満たす為に用いられているので、透明防護板174を平行平板164の最表面と平行に備えることが可能である。

【0070】同様に、反射フィルム168を防護する為に、接着剤（不図示）は、反射フィルム168の最表面に用いられ、防護板（不図示）を備えるようにすべきである。

【0071】反射フィルム168が約100%の反射率を持ち、かつ、平行平板164の同じ表面に照射窓はない場合、接着剤と防護板は必ずしも透明でなければならないわけではない。

【0072】さらに、反射防止フィルム176は、透明防護板174に用いられている。例えば、透明防護板174及び照射窓170は、反射防止フィルム176により覆われている。

【0073】上述の本発明の実施例において、焦点線は入力光が入る平行平板の表面の反対側の表面上にあるとしている。しかし、焦点線は平行平板内、照射窓上、または照射窓の前にあってもよい。

【0074】上述の本発明の実施例において、2つの反射フィルムは、1つの反射フィルムの反射率は約100%であり、フィルム間で光を反射する。しかし、各々100%より少ない反射率を持つ2つの反射フィルムでも、同様な効果は得られる。例えば両反射フィルムは、95%の反射率を持ってもよい。この場合、各々の反射フィルムは、自身を透過し、干渉を起こす光を持つことになる。この結果、波長に依存する方向に進む光束は、反射フィルムが形成された平行平板の両側に形成される。このように、本発明の様々な実施例の様々な反射は、必要とされるVIPAの特性に従って容易に変えることが可能である。

【0075】上述の本発明の実施例では、VIPAは平行平板または互いに平行な2つの反射面によって形成されるとして、説明した。しかし、板もしくは反射面は、必ずしも平行である必要はない。

【0076】上述の本発明の実施例によると、複数の波長を含む光を、同時に分割することが可能である。従って、波長多重通信に用いる受光器は、うまく小型化できる。上述の本発明の実施例によると、VIPAは、光の各々の波長について波長分割多重光を同時に分割することができる。さらに、分散の角度は、VIPAを形成する平行平板の厚さによって調節することが可能である。その結果、各々の分割された信号を、受光器が容易に受光することができるように、分散の角度を十分広くすることができる。例えば、従来の回折格子では、大きな回折角度を得る為に細かい凹凸表面が必要であった。

しかし、細かく、正確な凸凹表面をあつらえることは困難であり、従って、回折の角度の大きさは制限されていた。一方、上述の本発明の実施例に関わるVIPAでは、比較的大きな分散の角度を得る為には、平行平板の厚さを変えるだけで良い。

【0077】さらに、上述の本発明の実施例に関わるVIPAは、従来の回折格子より大きな分散角度を生成する。従って、上述の本発明の実施例に関わるVIPAを用いる受光器は、高度の多重処理を実現する波長多重通信においても、失敗なく正確に光信号を受光できる。さらに、そのような受光器は、比較的単純な構造を持ち、比較的安価に製造できる。

【0078】上述の本発明の実施例によると、VIPAは、反射を用い、干渉する光の間で一定の位相差を維持する。その結果、VIPAの特性は安定し、これにより、偏光により起こる光学的特性の変化を減少することができる。一方、従来の回折格子の光学的特性は、入力光の偏光に依存して、好ましくない変化があった。

【0079】さらに、アレイ導波路格子と比較して、上述の本発明の実施例に関わるVIPAは、比較的単純な構造を持ち、安定した光学的特性及び環境条件の変化に対する抵抗力を達成する。

【0080】上述の本発明の実施例は、互いに「空間的に判別可能な」光束を供給する、と説明する。「空間的に判別可能」とは、光束が間隔で判別可能であることをいう、例えば、様々な光束がコリメートされて異なる方向に進む、または異なる場所に集束される場合、光束は空間的に判別可能である。しかし、本発明はこのような例に限られるものではなく、光束が互いに空間的に判別可能である、多くの他の方法が存在する。

【0081】VIPAは、VIPAの反射面間の厚さ $t$ （図2の反射面86と88の間の厚さ $t$ のように）に対応する自由スペクトル領域を持つ。VIPAが波長分波器として用いられる場合、自由スペクトル領域は、VIPAの波長帯域を制限する。一般的に、波長帯域は、実質的に自由スペクトル領域と等しい。例えば、厚さ $t$ が $50\mu\text{m}$ の場合、VIPAの波長帯域は $16\text{nm}$ であり、各々の連続する $16\text{nm}$ の波長帯域についての出力角度が、繰り返される。

【0082】従って、VIPAへの入力光は、比較的大きな波長領域内に入る。この波長領域は、VIPAの自由スペクトル領域により決定される複数の波長帯域に分割される。各々の波長帯域について、VIPAからの出力角度は繰り返される。

【0083】VIPAに広い波長帯域を与えることは、しばしば望ましい。例えば、最近の技術進歩により、光アンプの帯域幅は大変増加している。光アンプにより増幅された光を効率的に分割するために、VIPAに広い波長帯域または帯域幅を与えることが望ましい。このために、VIPAの反射面の間の厚さ $t$ は、より薄くなら

なければならない。しかし、 $50\mu\text{m}$ より小さい厚さ $t$ のVIPAは、容易に制作できない。

【0084】VIPAの波長帯域を制限するこの問題を解決する為に、広い波長帯域を持つ装置を提供するように、VIPAを波長スプリッター（または、分波器ともいう）と組み合わせて用いることが可能である。

【0085】より具体的に、図14及び図15は、本発明の一実施例に関わる、分波器とVIPAを組み合わせた装置を示す。図14は装置の平面図、図15は装置の側面図である。

【0086】図14及び図15に示すように、波長分割多重光のような入力光は、ファイバー200からコリメーティング・レンズ210へ進む。コリメーティング・レンズ210は、入力光をコリメートし、半円柱レンズ220にコリメートされた光を供給する。半円柱レンズ220はVIPA230へ光を線集束させる。

【0087】VIPAは、回折格子240のような分波器へ供給される（光束のような）出力光を生成する。回折格子240は、複数の分離された光または光束に、光を分波し、複数の分離された光または光束は、集束レンズ250によって焦点面260に集束される。

【0088】一般に、VIPA230のようなVIPAは、狭い波長領域で比較的高い分解能を持つ。例えば、図16は、波長対VIPAの出力角度を示すグラフである。図16に示すように、VIPAは、VIPAの自由スペクトル領域によって決定される、複数の反復する波長帯域280を持つ。一般に、各々の波長帯域280の帯域は、実質的に自由スペクトル領域に等しい。

【0089】図16に示すように、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ 及び $\lambda_5$ は、各々同じ出力角度 $\theta$ でVIPAから分散される。従って、VIPAは、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ 及び $\lambda_5$ に対応する波長成分を持つ、出力角度 $\theta$ で出力光を分散する。

【0090】一方、図17は、波長対回折格子の出力角度を示すグラフである。図17に示すように、回折格子は、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ 及び $\lambda_5$ を含む広い波長帯域290を持つ。回折格子は、各々出力角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 、 $\theta_4$ 及び $\theta_5$ で、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ 及び $\lambda_5$ を分散する。

【0091】図16及び図17から、VIPAは、（波長帯域280のような）波長帯域内の比較的近接した波長を、大きく異なる出力角度で出力することを可能とする。従って、VIPAは、狭い波長帯域においても比較的高い分解能を持つ。一方、回折格子は、広い波長帯域で波長を分割することを可能とするが、出力角度は、互いに比較的接近している。従って、回折格子は広い波長帯域であっても、比較的低い分解能を持つ。

【0092】図14及び図15は、VIPA230及び回折格子240の分解能を参照することにより、容易に理解できる。より具体的には、再び図14及び図15を参照

すると、入力光はまず、比較的高い分解能のVIPA230で分波され、その後、さらに比較的低い分解能の回折格子240で分波される。

【0093】図18は、本発明の一実施例に係わる、VIPA-回折装置の動作例を示す。図18に示すように、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ 、 $\lambda_5$ 、 $\lambda_6$ 、 $\lambda_7$ 、 $\lambda_8$ 、 $\lambda_9$ 、 $\lambda_{10}$ 、 $\lambda_{11}$ 及び $\lambda_{12}$ を持つ入力光295を、VIPA230は受光する。その結果、VIPA230は、VIPA230から伝播する複数の光束または出力光300、310、320、330及び340を生成する。出力光300は、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_6$ 及び $\lambda_{11}$ を含む。出力光310は、波長 $\lambda_2$ 、 $\lambda_7$ 及び $\lambda_{12}$ を含む。出力光320は、波長 $\lambda_3$ 及び $\lambda_8$ を含む。出力光330は、波長 $\lambda_4$ 及び $\lambda_9$ を含む。出力光340は、波長 $\lambda_5$ 及び $\lambda_{10}$ を含む。

【0094】回折格子240は、出力光300、310、320、330及び340を受光し、各々、出力光内の波長に対応する分離された光に、各々の出力光を分波する。例えば、回折格子240は、出力光300を、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_6$ 及び $\lambda_{11}$ を持つ3つの分離された光に分波する。

【0095】VIPA230が、回折格子240が分離された光を分散する分散方向に対して平行でない、分散方向に出力光を分散する場合、VIPA230と回折格子240の組合せにより、比較的多数の間隔が近接した波長成分を持つ波長分割多重光を正確に分波することが可能になる。

【0096】例えば、図18は、格子パターンに、点1から12を持つグリッド350を示す。点1から12は、個々のファイバーの端を表す。VIPA240の分散方向が実質的に回折格子240の分散方向に対して垂直である場合、回折格子240によって生成された分離された光は、格子パターンに配列されたファイバーによって受光されることが可能である。この構成により、比較的多数の空間的に近接した波長成分を持つ、波長分割多重光は正確に分波されることが可能になる。

【0097】VIPA240の分散角度は、回折格子240の分散角度に対して、実質的に垂直であることに限定されるものではない。例えば、分散方向は互いに、単純に「平行でない」ことは可能である。さらに、本発明は、分散方向の関係によって限定されるものではない。従って、応用の仕方によっては、分散方向が平行であることが適当であることもありうる。

【0098】VIPA及び回折格子は共に、ある分散方向にある出力角度で、光を出力すると理解するべきである。従って、VIPA230は、異なる出力角度でVIPAから各々分散される、複数の出力光を生成する。しかし、出力光は、同じ分散方向に分散される。図18において、VIPA230と回折格子240の分散方向は、共に実質的に直線状であることが望ましい。例え

ば、図18で、VIPA230の分散方向は、図に対して垂直であってもよく、回折格子240の分散方向は、図に対して水平であってもよい。この場合、分散方向は、互いに垂直になる。

【0099】図18の装置により、広い波長領域内の入力光を、非常に正確に、高い分解能で分波することが可能になる。例えば、VIPA230が16nmの波長帯域内で0.8nm間隔で、20波長を分波し、回折格子240が、各々のVIPA波長帯で5波長を分波する場合、0.08nm間隔の100波長が、80nmの全帯域幅において分波される。

【0100】上述の本発明の実施例において、回折格子240は、分波器として用いられる。しかし、本発明は、回折格子の使用に限定されるものではない。代わりに、他の適切な分波器を用いることも可能である。例えば、多層干渉フィルムを使用してもよい。

【0101】上述の本発明の実施例によると、装置は、VIPAと、例えば回折格子のような分波器を備える。VIPAは、連続する波長領域内の波長を持つ入力光を受光する。その結果、VIPAは、VIPAから伝播する対応する出力光を生成する。出力光は、各々の波長に対して異なる出力角度で、実質的に直線状の分散方向に、VIPAから分散される。さらに、分散された出力光は、複数の異なる波長成分を含む。分波器は、出力光内の複数の異なる波長成分に各々対応する、複数の分離された光に、出力光を分波する。分割された複数の光は、各々の分離された光について、異なる出力角度で実質的に直線状の分散方向に、分波器によって分散される。VIPAの分散方向は、分波器の分散方向と平行でなく、垂直であることが望ましい。焦点面に複数の分離された光を集束するレンズを備えてもよい。ここで、各々の分離された光は、他の分離された光と焦点面上の異なる点に集束される。

【0102】一般に、入力光は、各々異なる波長の2以上の光を含む波長分割多重光である。その後、VIPAは、入力光の各々の光について、各出力光を形成する。各出力光は、他の出力光と空間的に判別可能であり、各々複数の異なった波長成分を含む。この場合、分波器は、各々、出力光内の複数の異なる波長成分に対応する分離された光に、出力光を分波する。そして、焦点面に分波器からの分離された光を集束させる為に、レンズを設けることは可能である。VIPAの分散方向が、実質的に分波器の分散方向に対して垂直である場合、焦点面上に格子パターンを形成するように、各々の分離された光を、他の分離された光と焦点面上の異なった点へ集束させることが可能である。

【0103】例えば、図18に示すように、本発明の実施例によると、装置は、各々異なる波長の複数の光を含む入力光を分波する。装置は、第一、第二の分波器を備える。例えば、図18において、VIPA230は、第

一の分波器として、回折格子240は、第二の分波器として動作する。第一の分波器は、各々の入力光内の複数の光に対応する複数の出力光に、入力光を分波する。第一の分波器は、複数の出力光を、実質的に直線上の分散方向に、それぞれの出力光に対し異なる出力角度で分散する。さらに、各々の出力光は、複数の波長成分を含む。第二の分波器は、各々の出力光内の複数の波長成分に対応する複数の分離された光に、出力光を分波する。第二の分波器は、各々の分離された光について、異なる出力角度で実質的に直線状の分散方向に、複数の分離された光を分散させる。第二の分波器の分散方向は、第一の分波器の分散方向に平行でなく、垂直であることが望ましい。第一、第二の分波器は、VIPAや回折格子に限定されるものではない。代わりに、適切な分波器または波長スプリッターを用いることが可能である。

【0104】一般に、VIPAは、自身に光を受光し、自身から出力する為の通過領域を持つ角分散コンポーネントである。通過領域を介して、VIPAは、連続する波長領域内で各々の波長を持つ入力光を受光する。VIPAは、入力光の多重反射によって、出力光を形成する自己干渉を起こさせる。出力光はVIPAから進み、連続する波長領域内の他の波長を持つ入力光について生成された出力光と、空間的に判別可能である。

【0105】ここで、さまざまなレンズを開示する。例えば、図14は、コリメーティング・レンズ210、半円柱レンズ220及び集束レンズ250の使用を開示する。しかし、本発明は、いかなるタイプのレンズの使用にも限定されるものではない。代わりに、適切な効果を得る為に、異なるタイプのレンズまたは装置を用いることが可能である。

【0106】ここで、「複数の」という語は、「1より多い」という意味である。従って、複数の光とは、「1より多い」光をいう。例えば、2つの光は、複数の光である。

【0107】

【発明の効果】本発明によれば、3つ以上の複数の波長キャリア持つ波長分割多重光を一度に分離することができる。従って、光多重方式の光通信において使用する受光器を小型化することが可能となる。

【0108】本発明によれば、異なる波長キャリアを、回折格子よりも大きな分散角度で出力する。従って、分散角度が大きいため、比較的近い波長のキャリアを多数持つ波長分割多重光を分離することより得た分散された光を、受光器が正確に受光することが可能となる。

【0109】本発明によれば、連続する波長領域内で各々の波長を持つ入力光を受光し、入力光の多重反射に自己干渉を生じさせ、それにより、出力光を形成する。このことより、上記出力光は、上記連続する波長領域内の他の波長を持つ入力光について形成された出力光と、空間的に判別可能となる。また、多重反射を用いる為、各

光線の位相が一定しているため、回折格子のように入力光の偏光により特性が影響を受けるということが少ない。また、アレイ導波路格子のように、特性が環境から影響を受けるということも少ない。

【0110】さらに、本発明によれば、回折格子のような波長スプリッターまたは「分波器」とVIPAを組み合わせる。上記VIPAは入力光を受光し、上記VIPAから伝播する対応する出力光を生成し、上記分波器は、各々、上記出力光内の複数の異なる波長成分に対応する複数の分離された光に、上記出力光を分波する。これにより、比較的多数の近接したキャリアまたは波長成分を持つ、波長分割多重光を正確に分波することが可能になる。

【0111】さらに、本発明によれば、第一の分波器と第二の分波器を備え、複数の光を含む入力光を分波させる。上記第一の分波器は、上記入力光を各々、上記入力光内の上記複数の光に対応する複数の出力光に分波し、上記複数の出力光を、各々の出力光について、実質的に直線状の分散方向に異なる出力角度で分散する。さらに、上記第二の分波器は、各々の出力光を、各々、上記出力光内の複数の波長成分に対応する複数の分離された光に分波し、上記複数の分離された光を実質的に直線状の分散方向に、各々の分離された光について異なる出力角度で分波する。このことにより、比較的多数の近接したキャリアまたは波長成分を持つ、波長分割多重光を正確に分波することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係わるバーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ（VIPA）の構成を示す図である。

【図2】本発明の実施例に係わる、図1に示すVIPAのVII-VII線に沿った横断面を示す図である。

【図3】本発明の実施例に係わる、VIPAによって生成される反射間の干渉を示す図である。

【図4】本発明の一実施例に係わる、光束の形成を示す為に、図1に示すVIPAのVII-VII線に沿った横断面を示す図である。

【図5】本発明の一実施例に係わる、入力光の傾斜角度を決定するVIPAの特性を表す、図1に示すVIPAのVII-VII線に沿った横断面を示す図である。

【図6】本発明の一実施例に係わる、受光器と共に用いられる時のVIPAを示す図である。

【図7】本発明のさらなる一実施例に係わる、受光器と共に用いられる時のVIPAの構成を示す図である。

【図8】本発明の他の実施例に係わる、VIPAの構成を示す図である。

【図9】本発明の一実施例に係わる、導波路型VIPAを示す図である。

【図10】本発明の一実施例に係わる、VIPAの作成方法を示す図（その1）である。

【図11】本発明の一実施例に係わる、VIPAの作成方法を示す図(その2)である。

【図12】本発明の一実施例に係わる、VIPAの作成方法を示す図(その3)である。

【図13】本発明の一実施例に係わる、VIPAの作成方法を示す図(その4)である。

【図14】本発明の一実施例に係わる、回折格子のような分波器とVIPAを組み合わせた装置の平面図である。

【図15】本発明の一実施例に係わる、回折格子のような分波器とVIPAを組み合わせた装置の側面図である。

【図16】本発明の一実施例に係わる、波長対VIPAの出力角度を示すグラフである。

【図17】波長対回折格子の出力角度を示すグラフである。

【図18】本発明の一実施例に係わる、VIPA-回折格子の動作例を示す図である。

【図19】多層干渉フィルムを用いた従来のフィルターを示す図である。

【図20】従来のファブリー・ペロー干渉計を示す図である。

【図21】従来のマイケルソン干渉計を示す図である。

【図22】従来の回折格子を示す図である。

【図23】波長分割多重光を分波する為の、従来のアレ導波路格子を示す図である。

# 【符号の説明】

76 パーチャル・イメージ・フェーズ・アレイ(VIPA)

77 入力光

78 ライン(焦点線)

80 レンズ

82 光束

84 部材

86 反射面

88 反射面

90 照射窓

92 入力光

94 光軸

96 反射面

98 反射面

100 平行平板

104 平行ビーム

106 コリメーティング・レンズ

108 円柱レンズ

110 焦点線

112 光束

114 レンズ

116 直線状ラインパス

118 受光器

120 プレート

122 反射フィルム

124 反射フィルム

126 照射窓

128 入力光

129 ビーム・ウェスト

130 円柱レンズ

132 光軸

134 虚像

136 光

137 基板

138 光

140 導波路

142 コリメーティング・レンズ

144 円柱レンズ

146 焦点線

148 VIPA

150 照射窓

152 反射フィルム

154 反射フィルム

156 平行平板

158 光束

160 レンズ

162 受光導波路

164 平行平板

166 反射フィルム

168 反射フィルム

170 照射窓

172 透明接着剤

174 防護板(保護板)

176 反射防止フィルム

200 ファイバー

210 コリメーティング・レンズ

220 半円柱レンズ

230 VIPA

240 回折格子

250 集束レンズ

260 焦点面

280 波長帯域

290 広波長帯域

295 入力光

300、310、320、330、340 出力光

350 格子

a、b 幅

OUT0、OUT1、OUT2、OUT3、OUT4

透過光

R1、R2、R3、R4 光線

P1、P2、P3、P4 点

A1、A2、A3、A4 領域

I0、I2、I3、I4、I5、I6 焦点線

LF1、LF2、LF3 光束

Q1、Q2、Q3 伝播方向

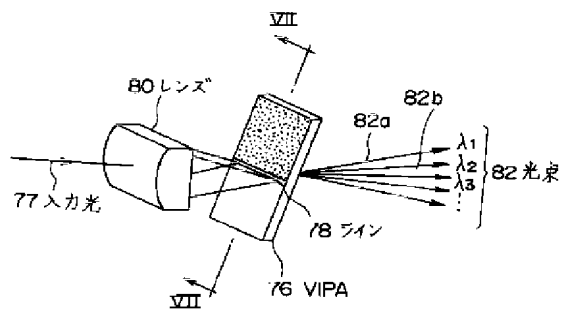


$\theta 1$  傾斜角度  
 $t$  厚さ  
 $d$  量

$\lambda 1$  から  $\lambda 12$  波長  
 $\theta 1, \theta 2, \theta 3, \theta 4, \theta 5$  出力角度

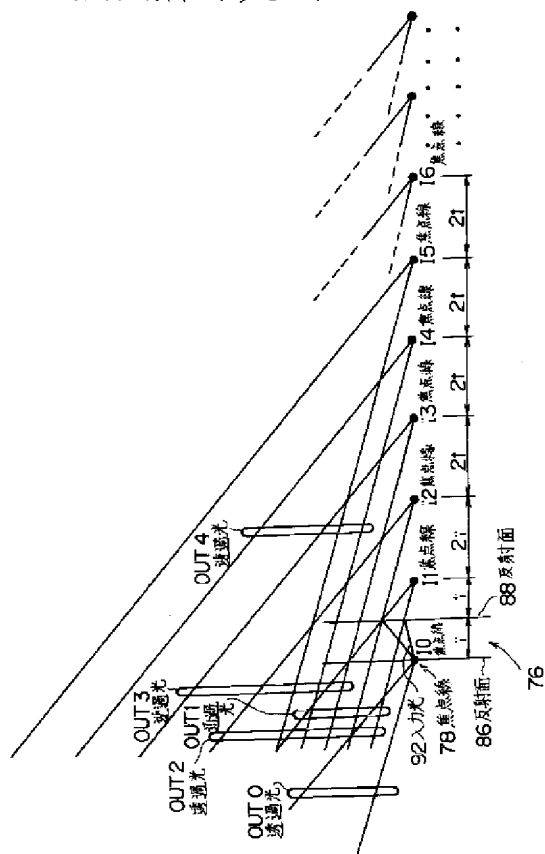
【図1】

本発明の一実施例に係わる  
 バ・チャル・イメージ・フェーズ・アレイ(VIPA)の  
 構成を示す図



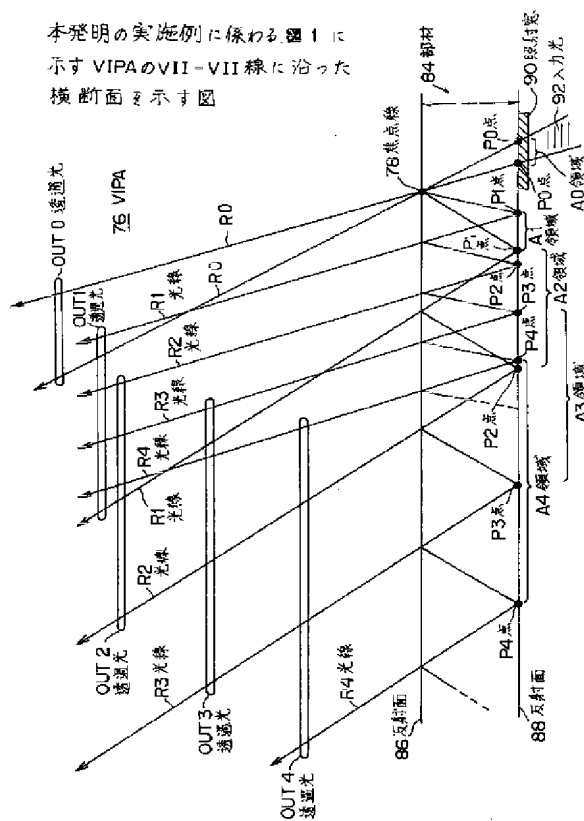
【図3】

本発明の実施例に係わる VIPA によって  
 生成される反射間の干渉を示す図



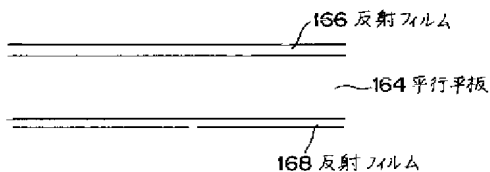
【図2】

本発明の実施例に係わる図1に  
 示す VIPA の VII-VII 線に沿った  
 横断面を示す図



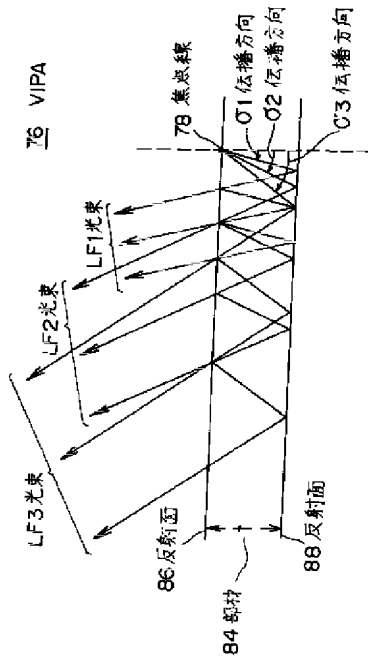
【図10】

本発明の一実施例に係わる  
 VIPA の作成方法を示す図 (その1)



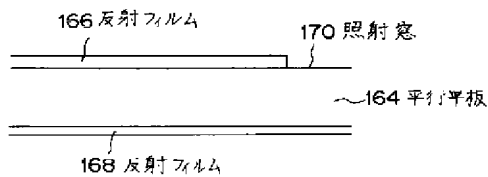
【図4】

本発明の一実施に係わる光束の形成を示す為、  
図1に示すVIPAのVII-VII線に沿った横断面を  
示す図



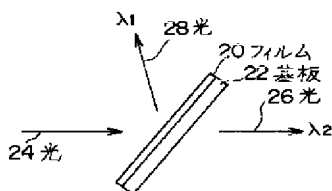
【図11】

本発明の一実施例に係わる  
VIPA の作成方法を示す図 (その2)



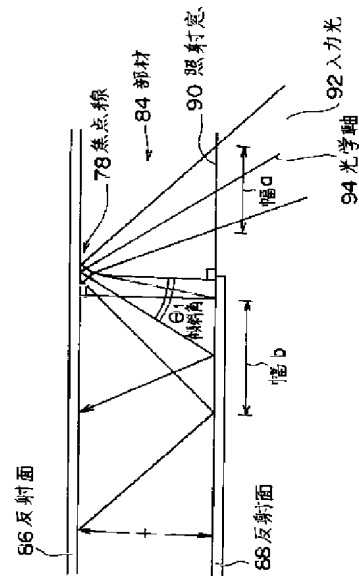
【図19】

多層干渉フィルムを用いた  
従来のフィルターを示す図



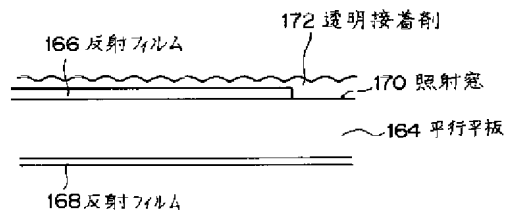
【図5】

本発明の一実施例に係わる、入力光の傾斜角度を  
決定するVIPA の特性を表す図1に示すVIPAのVII-  
VII線に沿った横断面を示す図



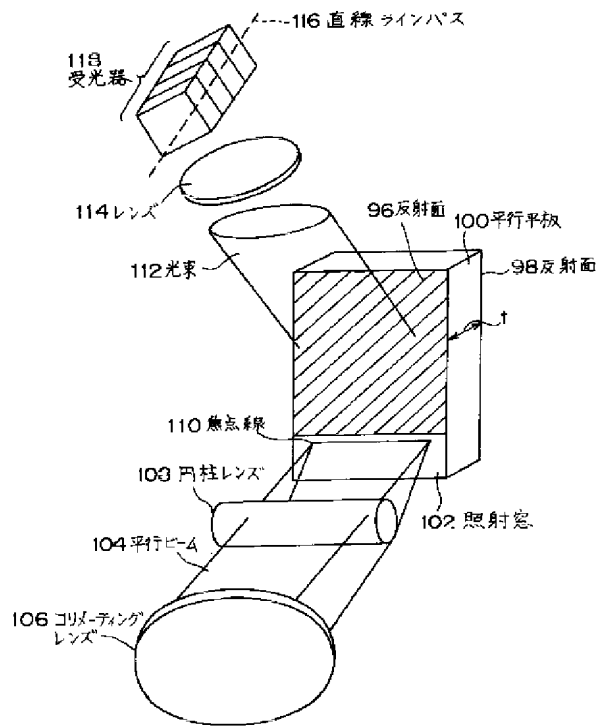
【図12】

本発明の一実施例に係わる  
VIPA の作成方法を示す図 (その3)



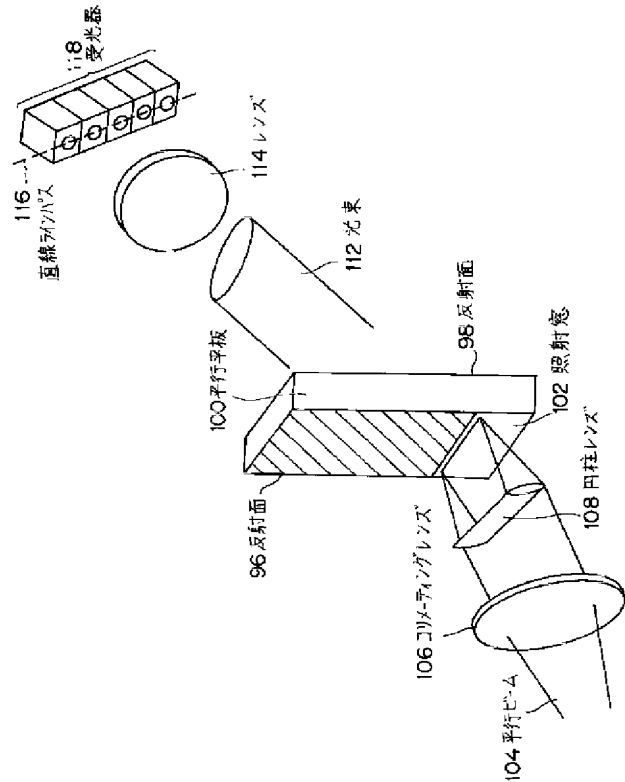
【図6】

本発明の一実施例に係る受光器と共に用いられる時のVIPAを示す図



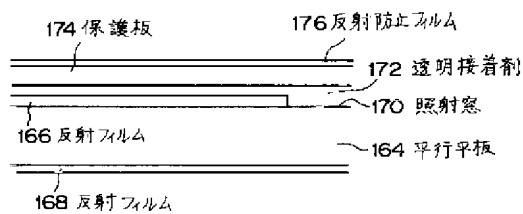
【図7】

本発明のさらなる一実施例に係る受光器と共に用いられる時のVIPAの構成を示す図



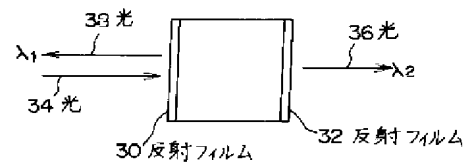
【図13】

本発明の一実施例に係る  
VIPAの作成方法を示す図（その4）



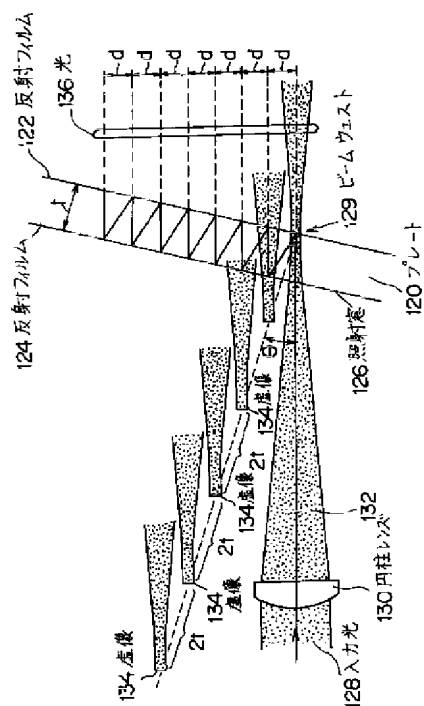
【図20】

従来のマブリュ・ペロー干渉計を示す図



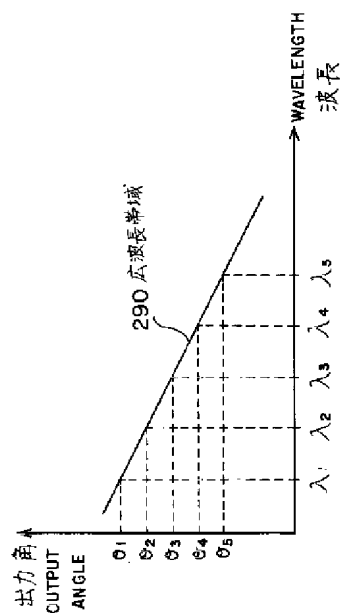
【例8】

本発明の他の実施例に係るVIPAの構成を示す図



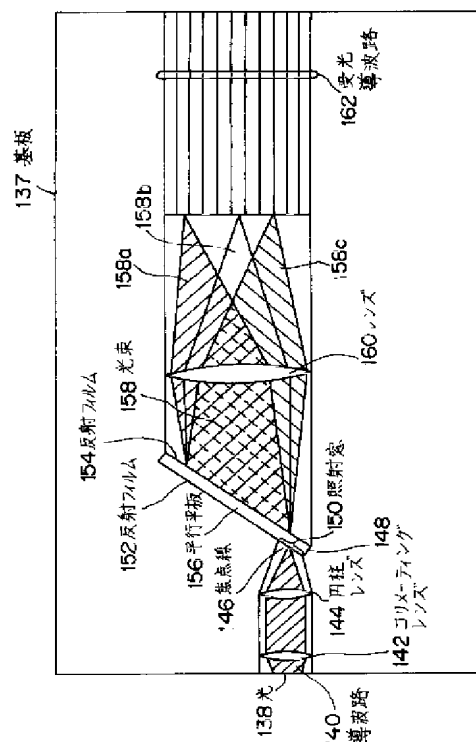
【例 17】

波長対回折格子の出力角度を示すグラフ



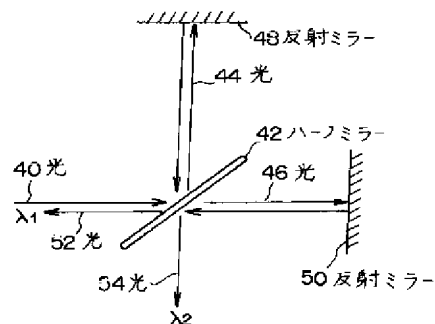
【图9】

本発明の一実施例に係わる、  
導波路型 VIPA を示す図



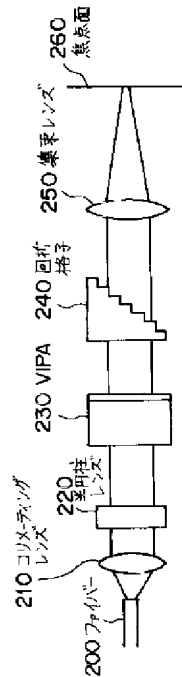
【例 21】

従来のマイケルソン干渉計を示す図



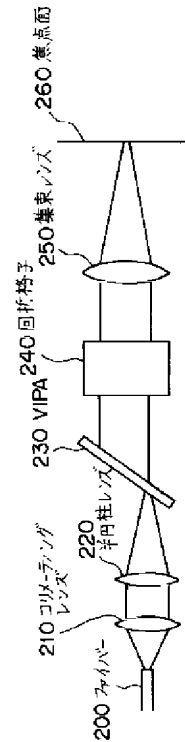
【図14】

本発明の一実施例に係わる、回折格子の  
よな分波器とVIPAを組み合わせた装置の平面図



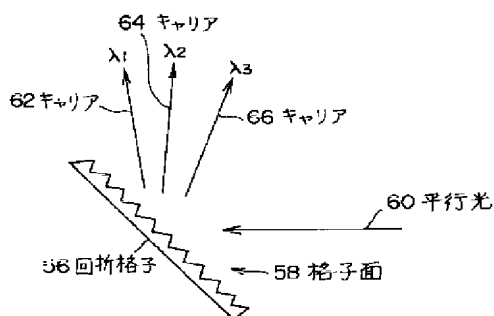
【図15】

本発明の一実施例に係わる、回折格子のよな  
分波器とVIPAを組み合わせた装置の側面図



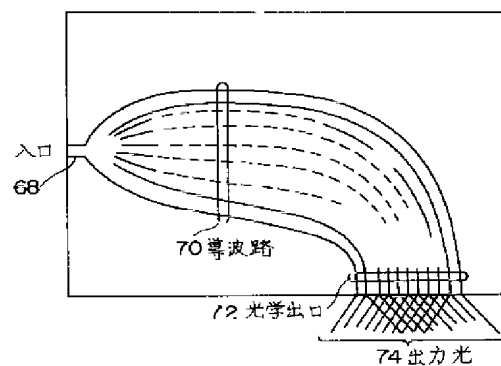
【図22】

従来の回折格子を示す図



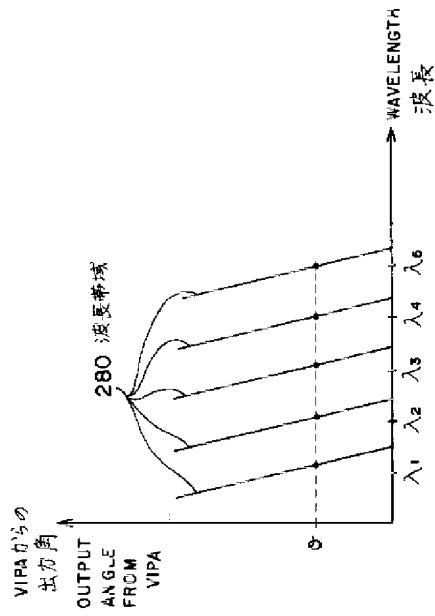
【図23】

波長分割多重光を分波する為の、  
従来のアレイ導波路格子を示す図



【図16】

本発明の一実施例に係わる  
波長対VIPAの出力角度を示すグラフ



【図18】

本発明の一実施例に係わる  
VIPA-回折格子の動作例を示す図

